



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 101 02 132 A 1

51 Int. Cl. 7:
F 01 N 9/00

21 Aktenzeichen: 101 02 132.1
22 Anmeldetag: 18. 1. 2001
43 Offenlegungstag: 25. 7. 2002

DE 101 02 132 A 1

71 Anmelder:
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

72 Erfinder:
Pott, Ekkehard, 38518 Gifhorn, DE; Etzrodt,
Thomas, 38553 Wasbüttel, DE

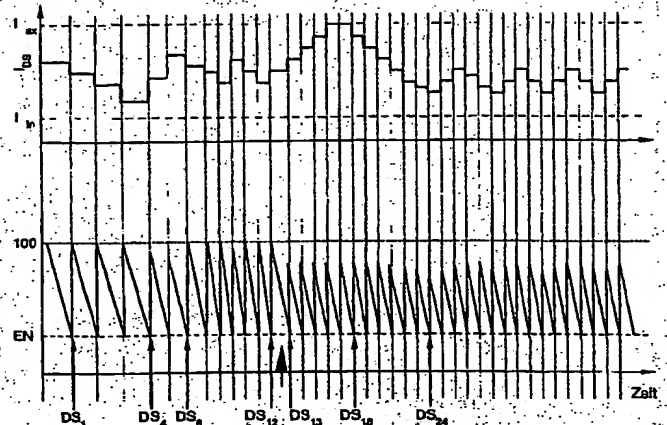
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 198 02 631 C1
DE 199 22 962 A1
DE 199 10 664 A1
DE 198 55 090 A1
DE 198 23 210 A1
DE 198 13 654 A1
DE 195 22 165 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren und Vorrichtung zur Entschwefelung eines NO_x-Speicherkatalysators

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entschwefelung zumindest eines in einem Abgaskanal (12) einer Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten NO_x-Speicherkatalysators (16), wobei der NO_x-Speicherkatalysator (16) während einer Entschwefelungsdauer bei einer mindestens einer Mindest-Entschwefelungstemperatur entsprechenden Entschwefelungstemperatur, zumindest zeitweise mit einem fetten Abgaslambda beaufschlagt wird, sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal (12) einer Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten NO_x-Speicherkatalysators (16).
Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ist vorgesehen, dass eine Entschwefelungsintensität (I_{DS}) in Abhängigkeit von einem Erfolg mindestens einer vorausgegangenen Entschwefelung (DS) des NO_x-Speicherkatalysators (16) variiert wird. Die erfindungsgemäße Vorrichtung sieht Mittel vor, mit denen eine Variierung einer Entschwefelungsintensität (I_{DS}) in Abhängigkeit von einem Erfolg mindestens einer vorausgegangenen Entschwefelung (DS) des NO_x-Speicherkatalysators (16) ausführbar ist.



DE 101 02 132 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entschwefelung eines in einem Abgaskanal einer Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO_x -Speicherkatalysators sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 17.

[0002] NO_x -Speicherkatalysatoren werden eingesetzt, um eine Emission von Stickoxiden NO_x magerlauffähiger Verbrennungskraftmaschinen zu reduzieren. NO_x -Speicherkatalysatoren verfügen über eine NO_x -Speicherkomponente zur Absorption von Stickoxiden sowie über eine katalytische Komponente zur Reduktion von NO_x . In mageren Betriebsphasen, in denen die Verbrennungskraftmaschine mit einem Sauerstoffüberschuss ($\lambda > 1$) betrieben wird und NO_x mit herkömmlichen 3-Wege-Katalysatoren nicht vollständig umgesetzt werden kann, erfolgt eine Einlagerung von NO_x in den NO_x -Speicher in Form von Nitrat. Eine NO_x -Regeneration des Speicherkatalysators findet in fetten Betriebsphasen der diskontinuierlich im Mager/Fett-Wechsel betriebenen Verbrennungskraftmaschine statt, wobei NO_x desorbiert und durch die im Abgas vorhandenen Reduktionsmittel zu mindestens nahezu vollständig zu N_2 umgesetzt wird.

[0003] Neben der bestimmungsgemäßen NO_x -Absorption erfolgt in den mageren Betriebsphasen eine unerwünschte Einlagerung von aus dem Kraftstoff stammenden Schwefel in Form von Sulfat in den NO_x -Speicher. Diese Schwefel-einlagerung ist unter den Bedingungen der NO_x -Regeneration nicht reversibel, so dass es zu einer zunehmenden Verschwefelung des NO_x -Speicherkatalysators kommt. Um einer fortschreitenden Abnahme der NO_x -Speicherkapazität und der katalytischen Aktivität sowie einer irreversiblen Schädigung des Katalysators durch so genannte Sulfatkornbildung entgegenzuwirken, ist es bekannt, in größeren Abständen Entschwefelungen durchzuführen. Dafür wird der NO_x -Speicherkatalysator üblicherweise bei Katalysatortemperaturen von über 600°C mit einer fetten Abgasatmosphäre beaufschlagt. Die erforderliche Katalysatortemperatur sowie das fette Abgaslambda können im Fahrbetrieb bei hohen Lasten spontan auftreten, so dass eine so genannte passive Entschwefelung stattfindet. Liegt eine unzureichende Häufigkeit passiver Entschwefelungen vor, so müssen aktive Entschwefelungen durchgeführt werden, indem ein Aufheizen des NO_x -Speicherkatalysators mit Hilfe Wirkungsgrad mindernder Maßnahmen, beispielsweise Spätzündung, erfolgt. Bei der Vorgabe von Entschwefelungsparametern, insbesondere der Entschwefelungstemperatur und -dauer sowie des Lambda fettwertes, ist stets ein Spannungsfeld zwischen einer drohenden thermischen Schädigung des Katalysatorsystems und einem Kraftstoffmeherverbrauch auf der einen Seite und einer, auch tiefer gelegene Speicherschichten betreffenden Gründlichkeit der Entschwefelung zu beachten. So können zu mild durchgeführte Entschwefelungen langfristig dazu führen, dass in tieferen Schichten eingelagertes Sulfat zu irreversiblen Sulfatkörnern umlagert und die NO_x -Speicherkapazität des Speichers dauerhaft herabsetzt.

[0004] In Ermangelung einer direkten Messmethode zur Erfassung des Schwefeleintrags und austrags des Speicherkatalysators erfolgt heute eine Ermittlung einer Entschwefelungsnotwendigkeit entweder sensorgestützt durch Auswertung eines stromab des Speicherkatalysators erfassten Signals einer Lambda-sonde oder eines NO_x -Sensors oder modellgestützt, indem die eingelagerte Schwefelmasse in Abhängigkeit verschiedener Betriebsparameter modelliert wird. Beide Verfahren können auch kombiniert miteinander eingesetzt werden. Übersteigt die modellierte Schwefelmasse einen vorgebbaren Wert oder wird anhand des Sen-

sorsignals ein Einbruch einer NO_x -Speicheraktivität des Speicherkatalysators um einen vorgebbaren Wert gegenüber einem Frischzustand erkannt, so wird die Entschwefelung aktiv eingeleitet. Um einen Entschwefelungsfortschritt zu verfolgen, ist weiterhin bekannt, den Schwefelaustrag aus dem Katalysator anhand von Kennfeldern, die eine Schwefelaustragsrate in Abhängigkeit geeigneter Betriebsparameter definieren, zu bestimmen. Wird ein zumindest weitgehend vollständiger Schwefelaustrag ermittelt, wird die Entschwefelung abgebrochen. Als problematisch für die Modellierung sowohl des Schwefeleintrags als auch des Schwefelaustrags des NO_x -Speicherkatalysators hat sich der regional extrem schwankende Schwefelanteil im Kraftstoff, der von nahe Null bei schwefelfreiem Kraftstoff bis über 1000 ppm in einigen Ländern reicht, erwiesen. Folglich führt jegliche Modellannahme des Kraftstoff-Schwefelgehaltes, bei der beispielsweise von einem maximal zulässigen gesetzlichen Grenzwert oder von einer üblicherweise verfügbaren mittleren Kraftstoffqualität ausgegangen wird, zu fehlerhaften Modellierungen der Schwefelbeladung des Speicherkatalysators und somit zu einer übertriebenen oder unzureichenden Häufigkeit und Intensität der Entschwefelungen.

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Entschwefelungsverfahren für NO_x -Speicherkatalysatoren zur Verfügung zu stellen, bei dem die Entschwefelungsbedingungen flexibel an einen tatsächlichen Zustand des NO_x -Speicherkatalysators, insbesondere an eine tatsächliche Schwefelbeladung und einen Alterungszustand des Katalysators, angepasst werden. Es soll ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellt werden.

[0006] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung nach Anspruch 17 gelöst. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass eine Entschwefelungsintensität in Abhängigkeit von einem Erfolg mindestens einer vorausgegangenen Entschwefelung des NO_x -Speicherkatalysators variiert wird. Dieses Prinzip kann auf verschiedene Weise realisiert werden. Nach einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung erfolgt die Variation der Intensität durch Anhebung und/oder Senkung von vorgebbaren Entschwefelungsparametern. Wird etwa für eine oder mehrere der unmittelbar vorausgegangenen Entschwefelungen ein ungenügender Entschwefelungserfolg festgestellt, so kann durch Anhebung einer Entschwefelungstemperatur und/oder einer Entschwefelungsdauer und/oder durch Senkung einer Lambda fettvorgabe (das heißt Anfettung) die Entschwefelungsintensität erhöht werden, um zu einem verbesserten Entschwefelungserfolg zu gelangen. Insbesondere kann hierdurch einem für eine Modellierung des Schwefeleintrags zu niedrig angesetzten Schwefelanteil des Kraftstoffes Rechnung getragen werden.

[0007] Gemäß einer abweichenden Ausbildung des Verfahrens, die besonders vorteilhaft kombiniert mit der vorstehend beschriebenen Ausführung eingesetzt werden kann, erfolgt die Variation der Entschwefelungsintensität durch Veränderung von mindestens einem Kennfeld, welches für eine Modellierung des Schwefelaustrags während einer aktiven und/oder passiven Entschwefelung verwendet wird. Die Verwendung von Kennfeldern, die im einfachsten Fall auch Kennlinien sein können, zur Modellierung des Schwefelaustrags ist an sich bekannt. Dabei korreliert ein Kennfeld additiv oder multiplikativ eine Schwefelaustragsrate mit mindestens einem Entschwefelungsparameter und gegebenenfalls mit weiteren Betriebsparametern. Im Rahmen der Erfindung erfolgt die Bestimmung der Schwefelaustragsrate bevorzugt in Abhängigkeit von der Katalysatortemperatur, dem Verbrennungs- oder Abgaslambda, einer aktuell ge-

speicherten modellierten Schwefelmasse und/oder der gespeicherten modellierten Schwefelmasse zu Beginn der Entschwefelung. Gemäß dieser Ausgestaltung des Verfahrens wird im Falle eines unzureichenden Entschwefelungserfolges einer vorausgegangenen Entschwefelung beispielsweise eine Temperaturkennlinie dahingehend verändert, dass eine bestimmte Schwefelaustragsrate einer höheren Katalysatortemperatur zugeordnet wird. Es erfolgt mithin eine Verschiebung der Kennlinie mit der Folge einer Anhebung der Mindest-Entschwefelungstemperatur, bei der ein Schwefelaustrag angenommen wird. Um einen höheren Entschwefelungserfolg zu erzielen, kann dann entweder bei konstanter Entschwefelungsdauer die Entschwefelungstemperatur angehoben werden oder bei konstanter Entschwefelungstemperatur die Entschwefelungsdauer durch Absenkung der modellierten Schwefelaustragsgeschwindigkeit verlängert werden. Die Beeinflussung der für die Modellierung des Schwefelaustrags zugrunde gelegten Kennfelder hat den Vorteil, dass auch bei passiven Entschwefelungen, bei denen die Entschwefelungsparameter praktisch nicht aktiv beeinflusst werden, der Schwefelaustrag und damit die Schwefelgesamtbelastung des Speicherkatalysators genauer bestimmt werden kann.

[0008] Von den genannten Entschwefelungsparametern, Entschwefelungstemperatur, Entschwefelungsdauer und Abgaslambda, kann die Entschwefelungsdauer am effektivsten und über den weitesten Bereich variiert werden. Dies erfolgt vorzugsweise, indem die Entschwefelungsdauer anhand des modellierten Schwefelaustrages beeinflusst wird, wobei die für die Modellierung zugrunde gelegte Schwefelaustragsrate anhand der erfindungsgemäß variierten Kennfelder bestimmt wird.

[0009] Für die Bemessung des Entschwefelungserfolges sind verschiedene Varianten denkbar. Nach einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt die Bewertung anhand einer nach mindestens einer vorausgegangenen Entschwefelung wiedergewonnenen NO_x -Speicheraktivität des Speicherkatalysators. Dabei gibt die durch einen NO_x -Sensor oder eine Lambdasonde stromab des NO_x -Speicherkatalysators ermittelbare NO_x -Speicheraktivität einen Wirkungsgrad wieder, mit dem der Katalysator eine einströmende NO_x -Menge speichert. Alternativ oder zusätzlich hierzu kann der Entschwefelungserfolg auch anhand einer seit der letzten Entschwefelung vergangenen Verschwefelungsdauer bewertet werden, wobei die Verschwefelungsdauer beispielsweise in Form einer seit der Entschwefelung verstrichenen Betriebsdauer und/oder Betriebsstrecke und/oder eines vorzugsweise im Magerbetrieb verbrauchten Kraftstoffvolumens bemessen werden kann. Es ist bevorzugt vorgesehen, die Verschwefelungsdauer anhand einer modellierten, in den NO_x -Speicherkatalysator eingelagerten Schwefelmenge (Schwefelbelastung) zu bemessen. In jedem Falle kann zur Bewertung des Entschwefelungserfolges als Referenz ein frischer NO_x -Speicherkatalysator herangezogen werden, der vollkommen schwefelfrei und thermisch und mechanisch ungeschädigt ist. Um einen Effekt zufällig schwankender Entschwefelungserfolge zu minimieren, kann zudem vorgesehen sein, einen mittleren Entschwefelungserfolg mehrerer vorausgegangener Entschwefelungen zu betrachten, insbesondere von zwei bis zehn vorausgegangenen Entschwefelungen, vorzugsweise der letzten fünf.

[0010] Nach einer besonders vorteilhaften Ausführung des Verfahrens wird die Entschwefelungsintensität gesenkt, wenn der betrachtete Entschwefelungserfolg einem zu erwartenden Entschwefelungserfolg des frischen Speicherkatalysators entspricht oder nur geringfügig von diesem abweicht. Dabei wird der Möglichkeit Rechnung getragen, dass die vorausgegangenen Entschwefelungsbedingungen

drastischer als notwendig waren und der gleiche Entschwefelungserfolg auch mit milderer Bedingungen erreichbar wäre. Dieses Herunterregulieren der Entschwefelungsintensität erfolgt vorzugsweise so lange, bis der beobachtete Entschwefelungserfolg mindestens um ein vorgebares Maß kleiner ist, als für den frischen NO_x -Speicherkatalysator zu erwarten. Die Anhebung oder Senkung der Entschwefelungsintensität erfolgt bevorzugt stufenweise, wobei entweder eine feste Schrittweite vorgegeben werden kann, oder mit einer variablen Schrittweite, die in Abhängigkeit von der Höhe des Entschwefelungserfolges im Vergleich zum frischen NO_x -Speicherkatalysator bestimmt wird. Zudem können unterschiedliche Schrittweiten für die Ver- und Entschärfung der Entschwefelungsparameter vorgesehen sein. Dabei kann es insbesondere sinnvoll sein, die Entschärfung in kleineren Schritten als die Verschärfung durchzuführen.

[0011] Nach einer weiteren Ausführung des Verfahrens wird über eine Anzahl von zwei bis zehn, vorzugsweise fünf vorausgegangenen Entschwefelungen ein Verlauf des Entschwefelungserfolges verfolgt und bewertet. Stellt sich dabei heraus, dass trotz eines – verglichen mit dem frischen Katalysator – geringen Entschwefelungserfolges eine Anhebung der Entschwefelungsintensität keine oder nur geringe Verbesserung erbrachte, so wird die Schrittweite der weiteren Verschärfung gemindert, zu Null gesetzt oder sogar eine leichte Entschärfung der Entschwefelungsbedingungen durchgeführt. Mit dieser Maßnahme wird ein "Reparaturversuch" von irreparablen thermischen oder mechanischen Schäden des Speicherkatalysators über den Weg der Entschwefelung vermieden.

[0012] Es kann ferner vorgesehen sein, dass eine obere und/oder eine untere Grenze für die Entschwefelungsintensität oder für eine Intensität einzelner Entschwefelungsparameter vorgegeben wird. Dabei wird durch Vorgabe von Maximalwerten die Durchführung zu drastischer oder zu länger Entschwefelungen, bei denen eine irreversible Schädigung des Speicherkatalysators hervorgerufen werden kann, vermieden. Hingegen verhindert die untere Grenze der Entschwefelungsintensität eine schleichende Schwefelvergiftung innerer Schichten des Speichermaterials, die zunehmend schwer zu beheben ist und schließlich zu einer dauernden Minderung der NO_x -Speicherkapazität führt.

[0013] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird ferner durch eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gelöst, die durch Mittel gekennzeichnet ist, mit denen eine Variierung der Entschwefelungsintensität in Abhängigkeit von dem Entschwefelungserfolg durchführbar ist. Diese Mittel umfassen vorzugsweise eine Steuereinheit, die in ein Motorsteuergerät integriert sein kann, in der ein Algorithmus zur Steuerung der Verfahrensschritte in digitaler Form hinterlegt ist.

[0014] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0015] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0016] Fig. 1 schematisch eine Anordnung einer Abgasanlage einer Verbrennungskraftmaschine;

[0017] Fig. 2 zeitliche Verläufe einer Entschwefelungsintensität sowie einer NO_x -Speicheraktivität gemäß dem Stand der Technik;

[0018] Fig. 3 ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Entschwefelung eines NO_x -Speicherkatalysators und

[0019] Fig. 4 zeitliche Verläufe der Entschwefelungsintensität und der NO_x -Speicheraktivität eines NO_x -Speicherkatalysators bei erfindungsgemäßer Verfahrensführung.

[0020] Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellungsweise eine Verbrennungskraftmaschine 10, deren Abgas in einer Abgasanlage nachbehandelt wird. Die Abgasanlage umfasst einen Abgaskanal 12, in dem ein Katalysatorsystem angeordnet ist. Das Katalysatorsystem besteht aus einem klein-
volumigen, motornahen Vorkatalysator 14 sowie einem typischerweise an einer Unterbodenposition angeordneten NO_x -Speicherkatalysator 16.

[0021] Eine Lambdasonde 18 misst einen Sauerstoffgehalt des Abgases zur Regelung eines der Verbrennungskraftmaschine 10 zuzuführenden Luft-Kraftstoff-Verhältnisses (Lambdaregelung). Ein weiterer Gassensor 20, beispielsweise in Form eines NO_x -Sensors, ist stromab des Speicherkatalysators 16 installiert. Anhand eines von dem Gassensor 20 bereitgestellten Signales wird eine NO_x -Speicheraktivität des Speicherkatalysators 16 ständig überwacht, um NO_x -Regenerationsintervalle des Speicherkatalysators 16 im Wege eines diskontinuierlichen Mager/Fett-Betriebs der Verbrennungskraftmaschine 10 zu regeln. Darüber hinaus kann anhand der Sensorsignale des Gassensors 20 auch eine Entschwefelungsnotwendigkeit des NO_x -Speicherkatalysators 16 erkannt werden. Dies kann beispielsweise durch Vorgabe einer Schwelle für die NO_x -Speicheraktivität erfolgen, deren Unterschreitung die Einleitung von Entschwefelungsmaßnahmen auslöst. Ein dem NO_x -Speicherkatalysator 16 vorgeschalteter Temperatursensor 22 dient der Ermittlung der Katalysatortemperatur. Abweichend hiervon kann die Katalysatortemperatur des Speicherkatalysators 16 auch anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 modelliert werden. Die von den Sensoren 18, 20, 22 bereitgestellten Signale werden an ein Motorsteuergerät 24 übermittelt, wo sie digitalisiert und weiterverarbeitet werden. Integriert in das Motorsteuergerät 24 ist eine Steuereinheit 26, in welcher ein Algorithmus zur Durchführung des erfindungsgemäßen Entschwefelungsverfahrens hinterlegt ist. Ferner sind in der Steuereinheit 26 Kennfelder zur Ermittlung einer Schwefelaustragsrate des Speicherkatalysators 16 während einer Entschwefelung in Abhängigkeit von der Katalysatortemperatur, von dem Verbrennungs- oder Abgaslambdawert, einer modellierten aktuellen Schwefelbeladung des Speicherkatalysators 16 und/oder einer modellierten Schwefelbeladung zu Beginn der Entschwefelung gespeichert. Das Motorsteuergerät 24 steuert verschiedene Betriebs- und Verbrennungsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 in Abhängigkeit der Signale. Insbesondere wird ein Lambdafettwert sowie eine Abgastemperatur entsprechend dem erfindungsgemäßen Algorithmus während der Entschwefelung des NO_x -Speicherkatalysators 16 vorgegeben.

[0022] Im unteren Teil der Fig. 2 ist ein stark vereinfachter zeitlicher Verlauf einer NO_x -Speicheraktivität NSA eines NO_x -Speicherkatalysators über eine Vielzahl von Entschwefelungen DS gemäß dem Stand der Technik aufgetragen. Dabei ist die Speicheraktivität NSA prozentual im Verhältnis zu einer theoretischen NO_x -Speicheraktivität NSA_T eines frischen, das heißt vollständig schwefelfreien und ungeschädigten, Speicherkatalysators dargestellt. Der Speicherkatalysator weist anfänglich eine 100%ige Speicheraktivität auf, die infolge einer zunehmenden Schwefelvergiftung kontinuierlich abnimmt. Sobald sie unter eine vorgegebene Schwelle EN sinkt, wird eine Entschwefelungsnotwendigkeit erkannt und eine erste aktive Entschwefelung DS_1 eingeleitet. Zu diesem Zweck wird beispielsweise durch Spätzündung die Katalysatortemperatur des Speicherkatalysators 16 auf eine Entschwefelungstemperatur oberhalb einer Mindest-Entschwefelungstemperatur angehoben und ein Abgaslambd kleiner oder gleich Eins eingestellt. Zusammen mit der Entschwefelungsdauer fließen der Lambdafett-

wert und die Entschwefelungstemperatur in eine Intensität der Entschwefelungsparameter ein, welche zusammengefasst als Entschwefelungsintensität I_{DS} im oberen Teil der Darstellung wiedergegeben ist. Gemäß der herkömmlichen Verfahrensführung werden diese Entschwefelungsparameter nicht variiert, so dass die Entschwefelungsintensität I_{DS} konstant bleibt. Nach der ersten Entschwefelung DS_1 wird die dem Frischzustand entsprechende NO_x -Speicheraktivität NSA vollständig zurückgewonnen. Auch nach den folgenden zwei Entschwefelungen entspricht die wiedergewonnene relative Speicheraktivität 100%. Ab der vierten Entschwefelung DS_4 beginnt der Wiedergewinn der Speicheraktivität NSA einzubrechen, so dass ein Wert kleiner als 100% nach der Entschwefelung erhalten wird. Dies kann einerseits auf eine irreversible thermische oder mechanische Schädigung des Speicherkatalysators 16 zurückzuführen sein und/oder auf unvollständige Entschwefelungen, die beispielsweise die Folge einer fehlerhaften Modellierung der Schwefelbeladung des Speicherkatalysators 16 sein können. Im Falle einer irreversiblen Schädigung des Katalysators wäre eine Reduzierung der Entschwefelungsintensität I_{DS} sinnvoll. Statt dessen wird die (zu hohe) Intensität I_{DS} beibehalten, wodurch eine weitere Schädigung des Katalysators sogar noch forciert wird. Ist die Ursache für den Aktivitätsverlust auf der anderen Seite in einer zu niedrigen Entschwefelungsintensität I_{DS} begründet, so lagert sich der insbesondere in tieferen Speicherschichten eingelagerte Schwefel, der durch die milden Entschwefelungsbedingungen nicht ausgetrieben werden kann, zunehmend in eine schwer zu desorbierende Form um (Sulfatkornbildung). Auch dies führt langfristig zu einer irreversiblen Desaktivierung des Speichers. Somit führen beiden Szenarien zu einem schleichenden Aktivitätsverlust, der nicht durch Änderung der Entschwefelungsparameter beziehungsweise der Entschwefelungsintensität kompensiert wird.

[0023] Dieses Problem wird durch das erfindungsgemäße Verfahren überkommen, dessen Ablauf gemäß einer vorteilhaften Ausführung in Fig. 3 skizziert ist. In einem ersten Schritt S1 wird mittels des NO_x -Sensors 20 eine Entschwefelungsnotwendigkeit EN anhand eines NO_x -Speicheraktivitätseinbruchs des Speicherkatalysators 16 erkannt. In einem anschließenden zweiten Schritt S2 wird ein Entschwefelungserfolg einer vorausgegangenen Entschwefelung DS ermittelt, indem die nach der Entschwefelung wiedergewonnene und abgespeicherte NO_x -Speicheraktivität NSA abgerufen wird. (Dieser im Folgenden als NO_x -Anfangsaktivität NSA_A bezeichneten Größe entsprechen jeweils die Maximalwerte in Fig. 2.) Um zufällige Störeinflüsse nicht überzubewerten, kann dabei vorgesehen sein, dass die NO_x -Anfangsaktivität NSA_A über eine Anzahl von beispielsweise fünf vorausgegangenen Entschwefelungen DS gemittelt wird. Anschließend wird im Schritt S3 eine Bewertung des Entschwefelungserfolges durchgeführt, indem die NO_x -Anfangsaktivität NSA_A mit einer theoretischen NO_x -Speicheraktivität NSA_T des frischen Speicherkatalysators verglichen wird. Wird hierbei erkannt, dass die Anfangsaktivität NSA_A des Katalysators 16 geringer ist als die des frischen Katalysators, erfolgt im Schritt S4 eine Anhebung der Entschwefelungsintensität I_{DS} mit der Schrittweite ΔI . Dies hat zur Folge, dass in der nächstfolgenden Entschwefelung der Speicherkatalysator 16 mit einer höheren Entschwefelungstemperatur und/oder mit einem niedrigeren Abgaslambdawert beaufschlagt wird und/oder die Entschwefelungsdauer verlängert wird. Vorzugsweise erfolgt eine Variierung von Kennfeldern, welche die verschiedenen Entschwefelungsbedingungen mit der Entschwefelungsrate korrelieren, und zwar derart, dass die Entschwefelungsrate insgesamt gesenkt wird. Auf diese Weise wird bei ansonsten gleichen Be-

dingungen, insbesondere gleicher Entschwefelungstemperatur und gleichem Abgaslambda, eine niedrigere Entschwefelungsrate ermittelt, so dass sich eine verlängerte Entschwefelungsdauer ergibt. Wird hingegen in der Abfrage S3 gefunden, dass die NO_x -Anfangsaktivität NSA_A im Wesentlichen der des frischen Speicherkatalysators entspricht, wird im Schritt S5 die Entschwefelungsintensität I_{DS} um das Inkrement ΔI verringert. Auf diese Weise werden übermäßig drastische Entschwefelungsbedingungen verhindert.

[0024] Die erfindungsgemäße Adaption der Entschwefelungsintensität I_{DS} über eine Vielzahl von Entschwefelungsintervallen DS zeigt Fig. 4. Ähnlich wie in Fig. 2 weist der NO_x -Speicherkatalysator 16 hier zunächst eine 100%ige NO_x -Speicheraktivität NSA auf, die nach der Entschwefelung DS_1 vollständig wiedergewonnen wird. Infolgedessen erfolgt gemäß Schritt S5 in Fig. 3 eine Absenkung der Entschwefelungsintensität I_{DS} . Diese Herunterregulation der Entschwefelungsparameter erfolgt so lange, bis nach der Entschwefelung DS_4 keine vollständige Wiedergewinnung der ursprünglichen NO_x -Speicheraktivität erkannt wird. Infolgedessen erfolgt nun ein schrittweises Anheben der Entschwefelungsintensität I_{DS} gemäß Schritt S4 in Fig. 3, bis wiederum eine vollständige Entschwefelung erkannt wird und die Entschwefelungsintensität I_{DS} wiederum herabgesetzt wird (DS_6). In den folgenden Entschwefelungen wird diese Vorgehensweise fortgeführt, so dass die Entschwefelungsintensität I_{DS} um einen optimal an den Zustand des NO_x -Speicherkatalysators 16 angepassten Wert oszilliert. Nach der Entschwefelung DS_{12} erleidet der Katalysator eine irreversible thermische Schädigung (siehe Pfeil), aufgrund dessen nach der Entschwefelung DS_{13} ein verhältnismäßig starker Einbruch der Speicheraktivität NSA beobachtet wird. Das System antwortet mit einer schrittweisen Erhöhung der Entschwefelungsintensität I_{DS} , bis eine vorgegebene obere Intensitätsgrenze I_{\max} erreicht wird. Durch Betrachtung des Verlaufs der vorausgegangenen Entschwefelungserfolge wird erkannt, dass eine Wiederherstellung der Frischaktivität (100%) offenbar nicht möglich ist, worauf die Entschwefelungsintensität I_{DS} erneut herunterreguliert wird, bis ein weiterer Aktivitätsverlust gegenüber dem nach DS_{12} günstigstenfalls erreichbarem Niveau beobachtet wird (DS_{24}). Anschließend schwingt die Entschwefelungsintensität I_{DS} um einen neuen Mittelwert ein, welcher den optimalen Entschwefelungsparametern für die nunmehr bestenfalls erreichbare Katalysatoraktivität entspricht.

[0025] In dem in den Fig. 3 und 4 dargestellten Ausführungsbeispiel wird der Entschwefelungserfolg ausschließlich anhand der nach einer Entschwefelung DS wiedergewonnenen NO_x -Anfangsaktivität NSA_A beurteilt. Besonders vorteilhaft wird als ein weiteres Kriterium im Schritt S2 in Fig. 3 eine während der letzten Magerphase (oder mehrerer vorausgegangener Magerphasen) in den NO_x -Speicherkatalysator 16 eingelagerte Schwefelmasse rechnerisch ermittelt und in Schritt S3 mit der des frischen Speicherkatalysators verglichen. Dabei erfolgt in bekannter Weise die modellgestützte Ermittlung der Schwefelbeladung in Abhängigkeit verschiedener Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 unter Berücksichtigung eines angenommenen Kraftstoffschwefelgehaltes und eines ebenfalls modellierten Schwefeleinlagerungswirkungsgrades des NO_x -Speicherkatalysators 16. Wird der Entschwefelungserfolg sowohl anhand der Anfangsaktivität NSA_A als auch anhand der Schwefelbeladung beurteilt, so kann zudem noch eine Gewichtung dieser beiden Kriterien vorgesehen sein, um die folgende Entschwefelungsintensität I_{DS} festzulegen.

[0026] Es ist erkennbar, dass unabhängig von äußeren Einflüssen stets die Entschwefelungsparameter in einem Lernprozess an einen tatsächlich vorliegenden Katalysator-

zustand angepasst werden. Dabei werden übermäßig drastische, den Katalysator schädigende Entschwefelungsbedingungen vermieden und gleichzeitig weitestgehend vollständige Entschwefelungen erzielt. Zudem ermöglicht die bedarfsgerechte Anpassung der Entschwefelungsparameter eine Verbrauchsminderung gegenüber dem Stand der Technik.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 10 Verbrennungskraftmaschine
- 12 Abgaskanal
- 14 Vorkatalysator
- 16 NO_x -Speicherkatalysator
- 18 Lambdasonde
- 20 Gassensor, z. B. NO_x -Sensor
- 22 Temperatursensor
- 24 Motorsteuergerät
- 26 Steuereinheit
- DS Entschwefelung
- EN Entschwefelungsnotwendigkeit
- I_{DS} Entschwefelungsintensität
- ΔI Schrittweite der Entschwefelungsintensität
- I_{\max} obere Grenze der Entschwefelungsintensität
- I_{\min} untere Grenze der Entschwefelungsintensität
- 25 NSA NO_x -Speicheraktivität
- NSA_A NO_x -Anfangsaktivität
- NSA_T theoretische NO_x -Speicheraktivität (frischer NO_x -Speicherkatalysator)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Entschwefelung zumindest eines in einem Abgaskanal (12) einer Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten NO_x -Speicherkatalysators (16), wobei der NO_x -Speicherkatalysator (16) während einer Entschwefelungsdauer bei einer mindestens einer Mindest-Entschwefelungstemperatur entsprechenden Entschwefelungstemperatur zumindest zeitweise mit einem fetten Abgaslambda beaufschlagt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Entschwefelungsintensität (I_{DS}) in Abhängigkeit von einem Erfolg mindestens einer vorausgegangenen Entschwefelung (DS) des NO_x -Speicherkatalysators (16) variiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Variierung der Entschwefelungsintensität (I_{DS}) durch Anhebung und/oder Senkung von vorgebaren Entschwefelungsparametern erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass während einer Entschwefelung ein Schwefelaustrag des NO_x -Speicherkatalysators (16) modelliert wird und die Variierung der Entschwefelungsintensität (I_{DS}) durch Veränderung mindestens eines für die Modellierung eines Schwefelaustrags verwendeten Kennfeldes, welches eine Schwefelaustragsrate mit mindestens einem Entschwefelungsparameter korreliert, erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entschwefelungsparameter die Entschwefelungstemperatur und/oder die Entschwefelungsdauer und/oder das Abgaslambda stromauf des NO_x -Speicherkatalysators (16) umfassen.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entschwefelungsdauer durch Veränderung einer für eine Modellierung eines Schwefelaustrags während der Entschwefelung (DS) vorgegebene Schwefelaustragsrate variiert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**

net, dass die Schwefelaustragsrate in Abhängigkeit von Betriebsparametern des NO_x -Speicherkatalysators (16) und/oder der Verbrennungskraftmaschine (10) anhand von multiplikativen oder additiven Kennfeldern modelliert wird und die Kennfelder in Abhängigkeit von dem Entschwefelungserfolg variiert werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Entschwefelungserfolg anhand einer nach mindestens einer vorausgegangenen Entschwefelung (DS) wiedergewonnenen NO_x -Speicheraktivität (NSA) des NO_x -Speicherkatalysators (16) bewertet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Entschwefelungserfolg anhand einer seit der vorausgegangenen Entschwefelung (DS) vergangenen Verschwefelungsdauer in Form einer Betriebsdauer und/oder eines insbesondere im Magerbetrieb verbrauchten Kraftstoffvolumens und/oder einer Betriebsstrecke und/oder einer modellierten, in den NO_x -Speicherkatalysator (16) eingelagerten Schwefelmenge bewertet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Entschwefelungserfolg im Vergleich zu einem frischen NO_x -Speicherkatalysator bewertet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Entschwefelungserfolg der vorausgegangenen zwei bis zehn Entschwefelungen, insbesondere der letzten fünf Entschwefelungen, bewertet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Entschwefelungsintensität (I_{DS}) gesenkt wird, wenn der Entschwefelungserfolg zumindest annähernd dem des frischen NO_x -Speicherkatalysators entspricht.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Entschwefelungsintensität (I_{DS}) angehoben wird, wenn der Entschwefelungserfolg zumindest um ein vorgebares Maß kleiner ist als der des frischen NO_x -Speicherkatalysators.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein Verlauf des Entschwefelungserfolges über zwei bis zehn vorausgegangene Entschwefelungen (DS) verfolgt wird und eine Anhebung der Entschwefelungsintensität (I_{DS}) verlangsamt oder abgebrochen wird, wenn im Wesentlichen keine Zunahme des Entschwefelungserfolges beobachtet wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Variierung der Entschwefelungsintensität (I_{DS}) stufenweise mit vorgebbare Schrittweite (ΔI) oder mit variabler Schrittweite in Abhängigkeit einer Abweichung des Entschwefelungserfolges von einem frischen NO_x -Speicherkatalysator erfolgt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Entschwefelungsintensität (I_{DS}) nicht über eine vorgegebene obere Grenze (I_{max}) und/oder nicht unter eine vorgegebene untere Grenze (I_{min}) angehoben beziehungsweise abgesenkt wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Entschwefelungsnotwendigkeit anhand einer NO_x -Speicheraktivität des NO_x -Speicherkatalysators (16) erkannt wird.

17. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur Entschwefelung zumindest eines in einem Abgaskanal (12) einer Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten NO_x -Speicherkatalysators (16) nach Anspruch 1

bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel vorhanden sind, mit denen eine Variierung einer Entschwefelungsintensität (I_{DS}) in Abhängigkeit von einem Erfolg mindestens einer vorausgegangenen Entschwefelung (DS) des NO_x -Speicherkatalysators (16) ausführbar ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel eine Steuereinheit (26) umfassen, in der ein Algorithmus zur Steuerung der Verfahrensschritte in digitaler Form hinterlegt ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (26) in ein Motorsteuergerät (24) integriert ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

BEST AVAILABLE COPY

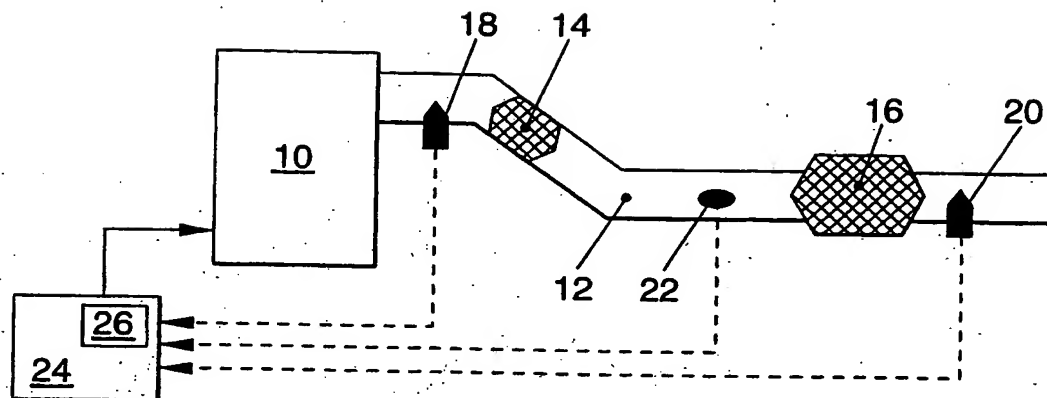


FIG. 1

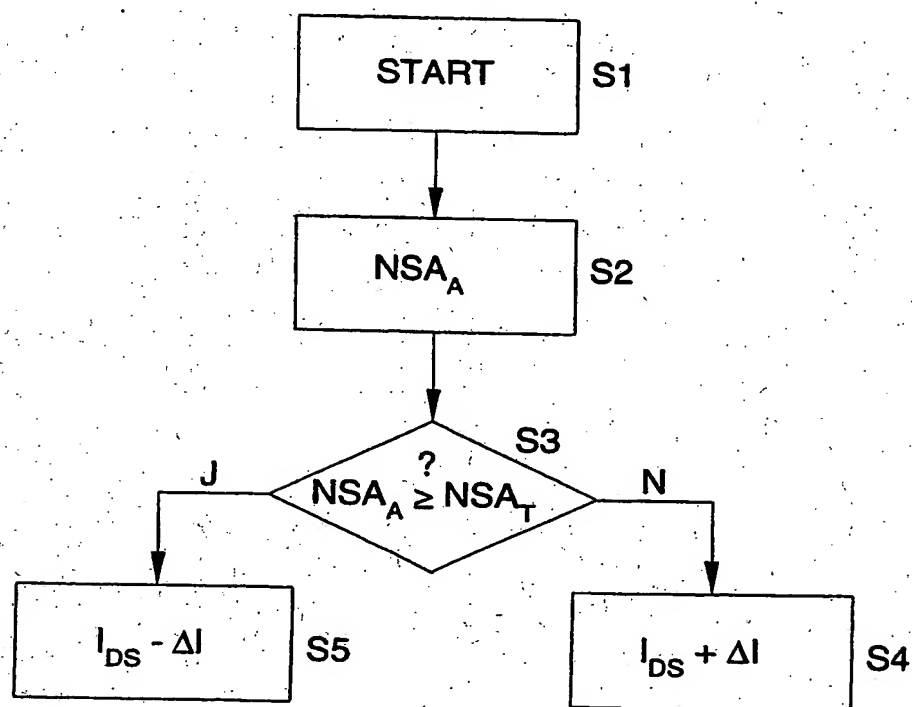


FIG. 3

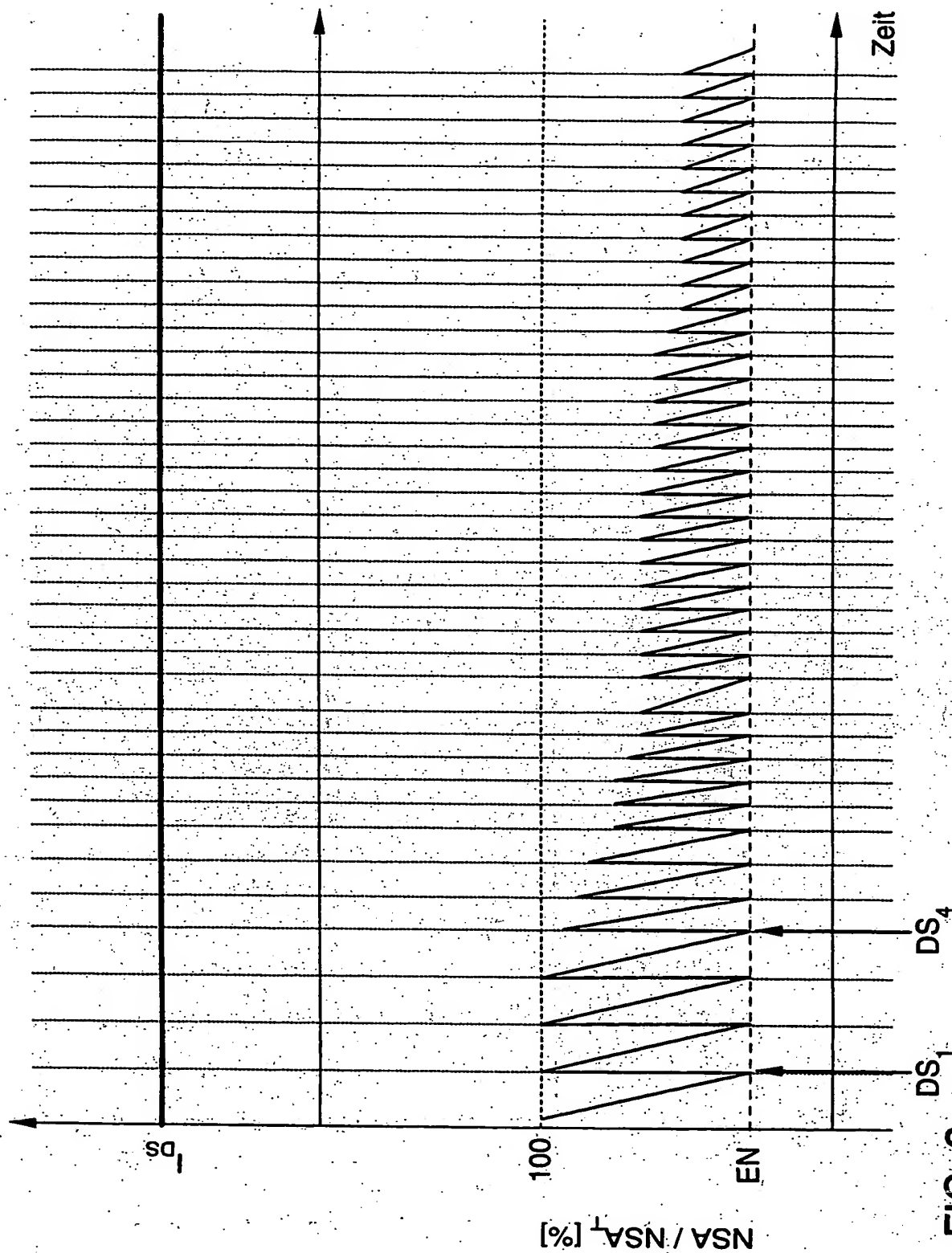


FIG. 2

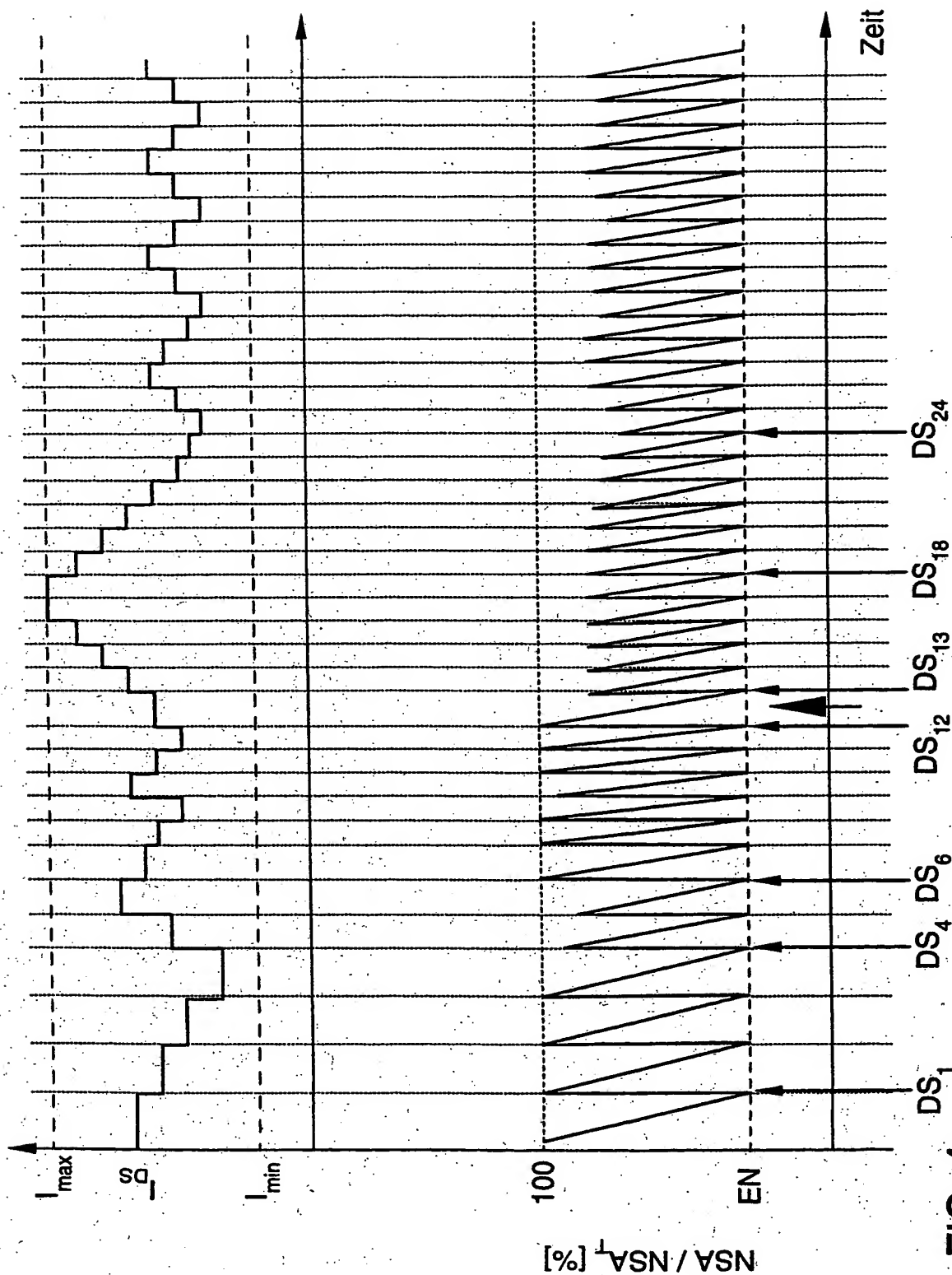


FIG. 4